

# La compatibilidad electromagnética y la seguridad en los ferrocarriles

Artículo cedido por Cemdal



[www.cemdal.com](http://www.cemdal.com)



Autor: Francesc Daura Luna, Ingeniero Industrial. Director de la Consultoría CEMDAL, Representante de Austria Mikro Systeme (ams AG) para España y Portugal. [www.cemdal.com](http://www.cemdal.com) [fdaura@cemdal.com](mailto:fdaura@cemdal.com)

La Directiva de compatibilidad electromagnética (CEM) afecta a todos los equipos electrónicos. Por tanto, la industria ferroviaria también está afectada por la Directiva de CEM. Mientras que hace unos treinta años cualquier función de control ferroviario se realizaba todavía con dispositivos electromecánicos, hoy en día la mayoría de funciones ferroviarias se llevan a cabo a través de dispositivos electrónicos. Estas tecnologías, además de ser utilizadas en funciones lógicas, en el control, de la seguridad o en sensores, también se aplican en la alta potencia de tracción, es decir, en la conversión de la energía, donde los convertidores conmutados de alta potencia se usan en las locomotoras eléctricas, tanto de alta velocidad como de alta potencia en los trenes de mercancías.

Otra razón del uso de los convertidores de potencia es la exigencia de poder cambiar entre dos o más tipos de líneas de suministro de energía; esta característica es extremadamente importante en la Unión Europea, donde las redes ferroviarias utilizan varios tipos de fuentes de alimentación. Esta capacidad de cambiar de nivel de tensión e incluso de frecuencia sin causar ningún inconveniente es importante para poder hacer circular trenes entre varios sistemas de alimentación. Como ejemplos de sistemas de alimentación de líneas de ferrocarriles en Europa se pueden citar: 600 V CC, 750 V CC, 1,5 kV CC, 3 kV CC, 3 kV CA a 16 2/3 Hz, 3 kV CA a 50 Hz, 15 kV CA a 50 Hz y 25 kV CA a 50 Hz.

Un tren puede consumir varios MW de potencia, lo que implica algunos miles de amperios. La conmutación entre sistemas de alimentación se realiza en unos pocos nanosegundos (con el fin de limitar la cantidad de energía perdida durante las transiciones de tensión y corriente) y genera niveles muy importantes de interferencias electromagnéticas (EMI). Estas EMI son, en parte, directamente radiadas

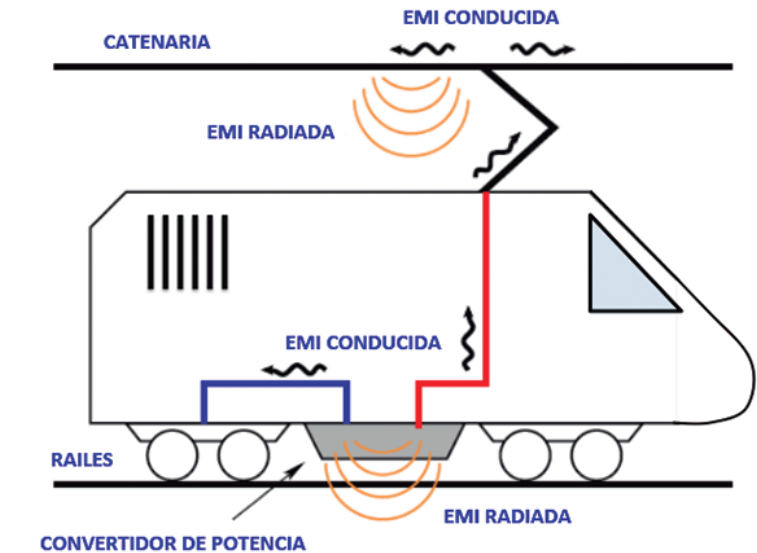


Figura 1. CEM en el exterior la cabina de un tren.

por el cableado del convertidor de potencia, induciendo así tensiones y corrientes a todo el cableado vecino, pero se pueden tener peores efectos debidos a las perturbaciones conducidas hacia la alimentación de la línea aérea (catenaria). Dado que el nivel de estas EMI podría ser catastrófico, a todos los convertidores se les añaden filtros para atenuarlas.

El diseño de estos filtros no es sencillo, debido a la naturaleza misma de las EMI debidas a las transiciones en las conmutaciones cuya amplitud puede variar en varios miles de amperios en pocos nanosegundos, lo que produce EMI con un espectro muy rico, alcanzando el rango de los GHz. En la figura 1, otro aspecto se pone en juego: dado que el tren necesita ser alimentado, el convertidor está conectado inevitablemente a una línea externa, de modo que parte de las EMI producidas por los convertidores del tren se inyectan en la catenaria por conducción. Por lo tanto, tienen lugar varios fenómenos:

- Debido a que una catenaria es prácticamente una antena de cable horizontal, las EMI conducidas se propagan inevitablemente a lo largo de su longitud

y emiten campos electromagnéticos. Esto puede suponer una grave amenaza para las líneas de telecomunicación cercanas y también puede contaminar el espectro de frecuencias utilizadas por las emisoras de radio/TV.

- La línea de ferrocarril también puede ser considerada como una línea de transmisión multi-conductor, permitiendo la propagación de EMI. Como hay otros dispositivos y equipos conectados a la misma línea de alimentación (según la arquitectura del sistema), los disturbios generados en un punto pueden perturbar el buen funcionamiento de otros dispositivos, incluso a muchos kilómetros de distancia de la fuente de EMI.
- Una línea ferroviaria puede tener una sola vía, o puede presentar varias vías paralelas (dos, cuatro o incluso más), que están cerca una de la otra. Esto puede provocar acoplamientos entre las líneas (diafonía), presentando así otro posible camino de las EMI para perturbar a otras partes del sistema ferroviario, por ejemplo, las señales de control a lo largo de las vías.

Estos tres puntos requieren algún tipo de controles y limitaciones para las EMI generadas por un tren, con el fin de asegurar que el sistema ferroviario y los equipos cercanos pueden funcionar correctamente. De hecho, las EMI conducidas también pueden perturbar los circuitos electrónicos dedicados al control y la seguridad en el interior del tren (figura 2), así como los circuitos de señalización conectados a los carriles, afectando a la seguridad general de la línea ferroviaria (figura 3). Los fallos en la detección de la posición del tren y su estado podrían provocar resultados catastróficos. Estas consideraciones son aún más importantes en las líneas de alta velocidad.

Por estas razones, es de suma importancia considerar un conjunto de reglas de buen diseño para ser aplicadas por los fabricantes de todos los elementos que constituyen una línea ferroviaria. Este objetivo es la razón de ser de los organismos de normalización de CEM, es decir, la propuesta de conjuntos de obligaciones y normas razonables para poner a prueba los equipos, de acuerdo con las ideas básicas de la CEM.

En el ámbito ferroviario, la norma más importante en la UE, (pero también fuera de la UE) es la CENELEC EN 50121. Esta norma describe las pruebas a realizar con el fin de evitar los problemas de CEM dentro de un sistema ferroviario.

### Aspectos de CEM en el entorno ferroviario

Hay varios aspectos a considerar en el entorno ferroviario que afectan a la CEM. El aspecto legal implica que las radio-comunicaciones no deben ser perturbadas. Por razones de seguridad tampoco se puede perturbar la señalización ferroviaria. Se debe asegurar el mantenimiento de la funcionalidad de toda la red ferroviaria en todos sus elementos. Al mismo tiempo, la red ferroviaria está integrada en el entorno y debe tener una buena co-existencia con otros vehículos o equipos. Por último, a nivel biológico, los pasajeros y el personal no deben estar expuestos a campos magnéticos demasiado altos.

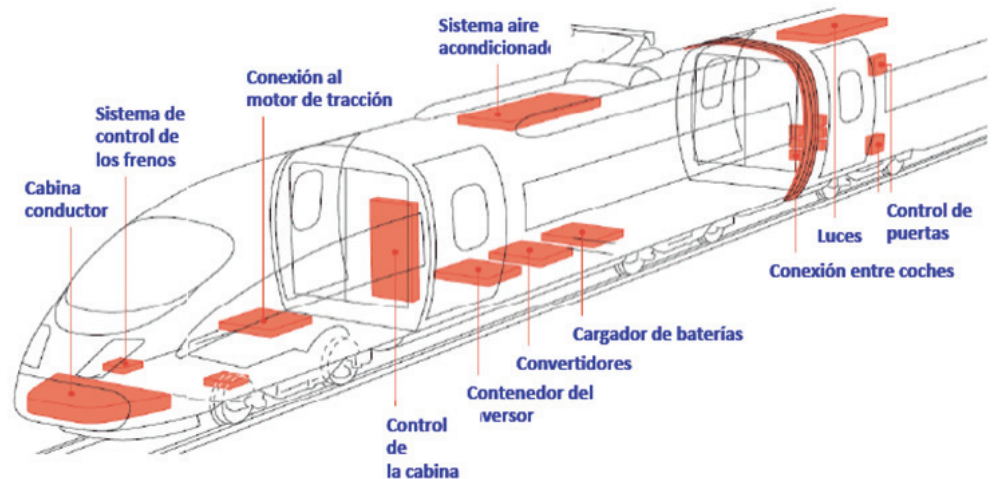


Figura 2. Elementos que generan EMI en el interior de un tren.

El circuito de potencia equivalente de un sistema eléctrico ferroviario está constituido por las subestaciones, los motores y los accionamientos del tren, así como por la catenaria, el pantógrafo y los raíles. Los sistemas de señalización comparten parcialmente la misma infraestructura. Entre las distintas partes del sistema, igual como con otros sistemas cercanos, existen acoplamientos inductivos y capacitivos.

El entorno ferroviario está considerado generalmente como un entorno electromagnético severo. En un ferrocarril electrificado, se requieren MW de potencia en la propulsión de los trenes para transportar pasajeros o carga de un destino a otro. El ferrocarril presenta un entorno electromagnético complejo compuesto de muchos sistemas, que incluyen la señalización,

la tracción y las comunicaciones. La CEM entre los sistemas eléctricos y electrónicos es un requisito esencial para el funcionamiento fiable y seguro de la red ferroviaria. Es evidente que las EMI de los equipos de tracción pueden afectar a los sistemas de señalización con consecuencias potencialmente graves.

También es importante destacar que una instalación ferroviaria está al aire libre y por ello puede ser perturbada por rayos en caso de tormenta, si no está debidamente protegida. La industria ferroviaria se esfuerza por reducir el riesgo de este tipo de incidentes. La CEM constituye una parte esencial de los procesos de análisis de la seguridad. Por ello debe ser uno de los requisitos incluidos en el estudio de seguridad en la introducción de nuevo material rodante, locomotoras, vehículos de mantenimiento

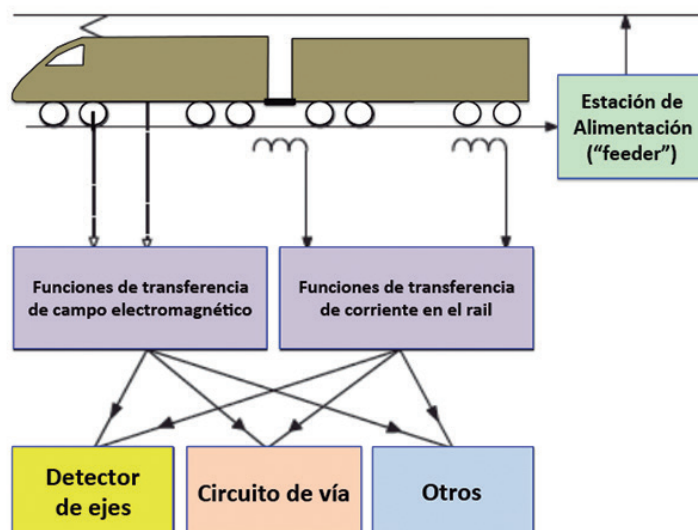


Figura 3. Instalaciones fijas de una línea ferroviaria que pueden tener problemas de CEM.

de vía en la red ferroviaria o instalaciones ferroviarias fijas como sensores, señales, actuadores, etc. El problema clave de la CEM en la industria ferroviaria es el multi-uso funcional del propio carril. En su inicio, en la década de 1840 los raíles eran simplemente un sistema de guiado mecánico.

El advenimiento de la electricidad impulsó la ingeniería de la señalización para desarrollar sistemas de detección de trenes dentro de las secciones de vía, usando el carril como conductor eléctrico. Actualmente el carril es el sistema de guía, el conductor de retorno de potencia en los esquemas de electrificación de los ferrocarriles de corriente alterna y continua y también se utiliza como el conductor de las señales codificadas de bajo nivel en el sistema de señalización (en los circuitos de vía). El problema de las EMIs se complica con el uso de las unidades de motor de tracción de corriente alterna con inversores de frecuencia que tienen que ser compatibles con el resto de los equipos e instalaciones.

Los ferrocarriles con locomotoras diesel con tracción eléctrica también pueden ser fuentes de EMIs. El entorno del ferrocarril contiene muchas fuentes y receptores de EMIs en su proximidad y por ello debe aplicarse las "buenas prácticas" de CEM para evitar problemas de seguridad y de CEM.

### La Directiva de CEM

La vigente Directiva de CEM 2004/108/CE se publicó en el DOUE de 15 de Diciembre de 2004 y el RD 1580/2006 de transposición se publicó, en el BOE del 22/12/2006, entrando así en vigor el régimen regulatorio de las instalaciones fijas y también afecta a todos los ferrocarriles, a sus sistemas de señalización y a sus instalaciones. La nueva Directiva de compatibilidad electromagnética, 2014/30/UE, se ha publicado el 29 de Marzo de 2014 y entrará en vigor el día 20 de Abril de 2016. A nivel técnico no aporta cambios con respecto a la presente Directiva.

Como en otros tipos de aparatos o equipos, según la Directiva de CEM el ferrocarril se define como

una "instalación fija" (IF) y deben documentarse las "buenas prácticas de ingeniería de CEM" utilizadas para la instalación de sus equipos y deben estar en poder de una "persona responsable" y estar a disposición de las autoridades de la UE, mientras que la IF permanezca en funcionamiento. La definición de "persona responsable" afecta a los contratistas y los controladores de las infraestructuras. Se requiere que esta responsabilidad quede clara en los contratos y la documentación de entrega de los equipos fijos y el material rodante. En relación con una IF, una "persona responsable" significa "la persona que, en virtud de su control de la IF es capaz de determinar que la configuración de la instalación es tal que cuando se usa cumple los requisitos esenciales".

La autoridad competente podrá solicitar pruebas del cumplimiento de la IF con los requisitos de protección y, si procede, se realizará una evaluación. Si una IF se identifica como una fuente inaceptable de emisiones, la autoridad competente puede solicitar a la "persona responsable" su mejora, para que sea conforme con los requisitos de protección de la seguridad y de la CEM. Los aparatos que constituyen la IF se deben ajustar a la Directiva de CEM y esta conformidad probablemente se puede demostrar gracias al cumplimiento de las normas armonizadas. El uso de las normas armonizadas facilita el proceso de conformidad de la Directiva de CEM. Mientras que la Directiva de CEM no es una directiva propiamente de "seguridad", la gestión de la documentación de CEM proporciona una documentación de la instalación ferroviaria que debe mantenerse. La Directiva de CEM también afecta a los fabricantes de equipos ferroviarios. Todo equipo está obligado a llevar el Marcado CE para poder ser vendido en la UE y requiere "documentación técnica", equivalente al expediente técnico de construcción. El fabricante, a su elección, puede elegir voluntariamente que su producto sea evaluado por un Organismo Notificado o bien puede auto-certificar su producto si dispone de los instrumentos adecuados o subcontrata un laboratorio de

CEM externo. Por tanto, es esencial gestionar la CEM para satisfacer los requisitos técnicos, de seguridad y legales del proyecto mediante la preparación de un Plan de Gestión de la CEM. Posteriormente se deben llevar a cabo las pruebas de CEM para verificar que el equipo o la instalación fija es conforme con la Directiva de CEM.

### Las normas ferroviarias de CEM

La Directiva de CEM es jurídicamente vinculante y ha obligado desde hace tiempo a muchos sectores de la industria eléctrica / electrónica a revisar sus procedimientos adoptándolos para garantizar la CEM en sus sistemas y productos. La industria ferroviaria no es una excepción. Sobre la base de las normas RIA 12 ("General specification for protection of traction and rolling stock electronic equipment from transients and surges in DC control systems") y RIA 18 ("General specification for interference testing on electronic equipment used on traction and rolling stock") de la Asociación de la Industria Ferroviaria, CENELEC (Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique) ha generado toda una serie de normas de CEM para los ferrocarriles.

La norma europea EN 50121 con sus partes 1 a 5 se introdujo en 1995 como norma previa, y fue adoptada definitivamente en el año 2000. La versión de 2006 entró plenamente en vigor a partir de julio de 2009. La versión española UNE\_EN\_50121 se presentó en 2007.

Con esta norma los fabricantes pueden evaluar sus productos como medio de demostrar la conformidad con la Directiva de CEM. Esta norma también ha tenido una buena aceptación internacional fuera de la UE.

El objetivo clave de la norma EN 50121 es lograr tener la conformidad de CEM dentro del entorno ferroviario y también entre la red del ferrocarril y el "mundo exterior". En ella se incluye la advertencia de que es probable que se logre la conformidad de la CEM si se cumple la norma pero que, debido a la complejidad del entorno, no se puede garantizar la CEM al 100%. La serie de normas EN 50121 se subdivide

en 6 partes, cubriendo diferentes aspectos del entorno ferroviario. La estructura de las normas y la forma en que se subdividen no ha cambiado desde su publicación inicial y comprende las siguientes partes (traspasadas por AENOR a normas españolas UNE):

- UNE\_EN50121-1 : Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética. Parte 1: Generalidades.
- UNE\_EN50121-2 : Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética. Parte 2: Emisión del sistema ferroviario completo al mundo exterior.
- UNE\_EN50121-3-1 : Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética. Parte 3-1: Material rodante. Tren y vehículo completo.
- UNE\_EN50121-3-2 : Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética. Parte 3-2: Material rodante. Aparatos.
- UNE\_EN50121-4 : Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética. Parte 4: Emisión e inmunidad de los aparatos de señalización y de telecomunicación.
- UNE\_EN50121-5 : Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética. Parte 5: Emisión e inmunidad de las instalaciones fijas de suministro de energía y de los equipos asociados.

Cada norma de las anteriores se dirige internamente a las normas "básicas" de CEM para entrar en detalle en los métodos de medición y sus límites. Cabe señalar que las normas EN 50121 parte 2, parte 3-1 y parte 5 requieren pruebas "in situ" para la medición y no tienen el mismo grado de control que las pruebas realizadas en el laboratorio de CEM.

La norma EN 50121 representa lo propuesto por CENELEC en relación con la CEM en ferrocarriles. Del mismo modo, la serie de normas IEC 62236-x representa lo propuesto por IEC (International Electrotechnical Commission) a nivel internacional. Estas normas internacionales representan el requisito mínimo para alcanzar la conformidad de CEM, Además pueden requerirse otras normas "locales". En muchos casos, estas normas nacionales o

"locales" se basan en los requisitos de la norma EN 50121, de tal forma que la norma resultante refleja más adecuadamente los requerimientos de una parte particular del ferrocarril en el país correspondiente.

La norma EN 50155 (UNE EN 50155: Aplicaciones ferroviarias. Equipos electrónicos utilizados sobre material rodante) (última versión de 2007 con una corrección en 2010) es una norma que ha causado confusión, sobre todo porque esta norma también contiene requisitos de CEM. La norma EN 50155 está enfocada al funcionamiento del producto, en lugar de ser una norma que se utilice para obtener el Marcado CE, como lo es la norma EN 50121. Sin embargo, la norma EN 50155 fue un requisito de contrato para algunos fabricantes, por lo que se ha tenido que cumplir con los requisitos de CEM de ambas normas EN 50155 y EN 50121.

### Otras normas ferroviarias

En cuanto a las normas de CEM de aplicación en los ferrocarriles, CENELEC, a través de su sub-comité técnico, CLC / TC 9X, desarrolló de la serie de la norma EN 50121. El sub-comité CLC / TC 9X es el órgano técnico encargado de la estandarización de los sistemas eléctricos y electrónicos, equipos y software asociado para su uso en todas las aplicaciones ferroviarias, ya sea en material rodante o instalaciones fijas, incluido el transporte urbano. Se compone de tres sub-comités de la siguiente manera:

- CLC / TC 9XA: Comunicación, señalización y sistemas de procesamiento;
- CLC / TC 9XB: Material rodante;
- CLC / TC 9C: Instalaciones fijas.

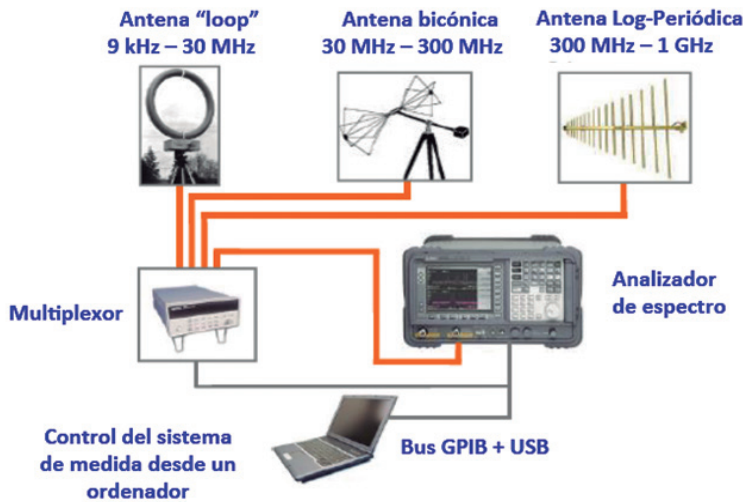
El sub-comité CLC / TC 9X es responsable de la publicación y el mantenimiento de un número significativo de las normas de aplicación al ferrocarril. A continuación hay una lista de algunas de ellas:

- EN50261: Montaje de equipos electrónicos
- EN50207: Convertidores electrónicos de potencia para el material rodante
- EN50126-1: Especificación y demostración de la fiabilidad,

disponibilidad, mantenibilidad y Seguridad

- TR50126-2: Guía de aplicación para la seguridad
- ET50128: Comunicación, señalización y procesamiento – Software para el control de trenes y sistemas de protección
- EN50129: Comunicación, sistemas de señalización y procesamiento – Seguridad relacionada con sistemas electrónicos de señalización
- EN50124-1: Coordinación de aislamiento - Requisitos básicos – Distancias y líneas de fuga para todos los equipos eléctricos y electrónicos
- EN50124-2: Coordinación de aislamiento - Sobretensiones y protecciones relacionados
- EN50125-1: Condiciones ambientales para el equipo - Material a bordo - Material rodante.
- EN55125-2: Condiciones ambientales para el equipo - Equipo de instalaciones fijas
- EN50125-3: Condiciones ambientales para el equipo - Equipo para la señalización y las comunicaciones
- EN 50500: Exposición humana a campos electromagnéticos
- EN 50463: Medida de energía a bordo de trenes
- EN 50159-1: Aplicaciones ferroviarias - Comunicación, sistemas de señalización y procesamiento - Comunicación de seguridad en los sistemas de transmisión cerrados
- EN 50159-2: Aplicaciones ferroviarias - Comunicación, sistemas de señalización y procesamiento - Comunicación de seguridad en los sistemas de transmisión abiertos
- EN 50238-1: Comunicación, sistemas de señalización y procesamiento - La compatibilidad entre sistemas del material rodante y de detección de trenes - general
- EN 50238-2: Compatibilidad con los circuitos de vía
- EN 50238-3: Compatibilidad con los contadores de ejes
- CLC / TR 50507: Límites de interferencia de los circuitos de vía existentes utilizados en los ferrocarriles europeos
- EN 50239: La comunicación, señalización y procesamiento de

Figura 4. Medidas de las emisiones radiadas con tres antenas para cubrir las tres gamas de frecuencias requeridas por la norma EN 50121.



sistemas - sistema de control remoto de radio del vehículo de tracción para el transporte de mercancías

- EN 50163: Aplicaciones ferroviarias - Tensiones de alimentación de sistemas de tracción
- UIC 737-3: La aplicación de tiristores en tecnología ferroviaria: Medidas para la prevención de alteraciones funcionales en Instalaciones de señalización
- UIC 550: Instalaciones de suministro de energía para los pasajeros de stock

### Las instalaciones fijas ferroviarias

Las instalaciones fijas (IFs) son montajes de diversos aparatos y otros dispositivos, que llevan el Marcado CE, instalados y/o construidos aplicando las "buenas prácticas de ingeniería". Las IFs se destinan a un uso permanente en un lugar definido previamente (por ejemplo, redes

de distribución de electricidad, redes de telecomunicaciones, grandes máquinas y conjuntos de máquinas en centros de fabricación). Una IF debe cumplir con los requisitos de protección de la seguridad y de la CEM.

Las "buenas prácticas de ingeniería" se deben documentar y toda la documentación debe permanecer en poder de una "persona responsable", disponible para una inspección de las autoridades nacionales durante el tiempo en que la IF esté en funcionamiento. El ferrocarril se ajusta claramente a la definición de una instalación fija.

Cuando un aparato está diseñado y fabricado para su incorporación en una IF específica y no está disponible en el mercado fuera de esa IF, no está obligado a someterse a los procedimientos formales de evaluación de la conformidad de la Directiva. El fabricante puede optar entre seguir los procedimientos de evaluación de la conformidad o

proporcionar una documentación adjunta que detalle el nombre y el lugar de la IF y las precauciones de CEM que se han tomado para la incorporación a la IF con el fin de mantener la conformidad de la instalación.

El fabricante también debe proporcionar la identificación del aparato y su nombre y dirección, o el nombre y dirección de su representante autorizado (si el fabricante se encuentra fuera del UE) o la persona en la UE responsable de la comercialización del equipo en el mercado europeo. Las autoridades pueden exigir ver la Documentación Técnica, no sólo una declaración de conformidad (DoC).

Los controladores de las infraestructuras ferroviarias deben conocer las implicaciones y aplicar la correspondiente estrategia. En el caso de la construcción de una nueva línea, la "persona responsable" es el contratista principal y debe supervisar y coordinar toda la documentación de los colaboradores / proveedores, de la instalación y las aprobaciones de CEM.

Después de la puesta en marcha y el traspaso, el controlador de la infraestructura se convierte en la "persona responsable" que, por ejemplo, puede ser el responsable Ingeniero Jefe / Director Técnico, que se debe encargar de mantener toda la documentación relativa a la CEM. Esta documentación es una documentación "viva", es decir, debe reflejar como se producen las actualizaciones, añadiendo la información correspondiente.

En las instalaciones ferroviarias ya construidas, la Directiva de CEM no es retroactiva. Por lo tanto, la documentación de CEM se puede ir acumulando con el tiempo mediante la actualización de la documentación del proyecto, además de los datos y / o documentación existente. Una vez una nueva línea ferroviaria ya está en activo, la acción legal de la inspección parece poco probable ya que, en general, las autoridades competentes han mostrado poco interés para hacer cumplir los requisitos de la CEM en los productos ya instalados, salvo si hay un accidente donde, lógicamente se analiza toda la documentación concerniente.



Figura 5. Las medidas de las emisiones radiadas con varias antenas necesitan varias pasadas del tren.

Los requisitos de las instalaciones ferroviarias dan peso a la necesidad de tener un enfoque estructurado para la CEM, incluyendo los aspectos de la seguridad, la interoperabilidad y la conformidad con la Directiva de CEM. La documentación de las IFs, basada en las "buenas prácticas de ingeniería", debe incluir estudios del ambiente electromagnético, planes de gestión de la CEM, identificación de riesgos, la utilización de matrices de cumplimiento, en muchos casos en el lugar de prueba, para verificar que las medidas adoptadas garantizan el cumplimiento de la CEM.

### El material rodante

Las normas EN 50121-2 y EN 50121-3-1 establecen las emisiones que se deben medir a partir de los movimientos de los trenes desde un único punto de observación a 10 metros al lado de la vía férrea (figura 4). Las mediciones deben hacerse usando un detector de pico porque el tiempo para hacer la medición es muy corto y se deriva de la anchura del haz de la antena, la velocidad de barrido del instrumento de medición y la velocidad del tren. Esto significa que las emisiones de los transitorios, tales como los debidos a los rebotes del pantógrafo se incluyen en la medición real. Estas pruebas se realizan con varias antenas a la vez para poder recibir todo el ancho de banda a medir. Dependiendo del tipo de antenas se necesitan de 2 a 3 antenas.

Los límites de las normas se derivan de tales mediciones, lo que significa que potencialmente el material rodante puede producir emisiones continuas hasta esos límites, por lo se que pueden tener trenes más "ruidosos" que en el pasado. Las normas también requieren pases individuales del tren para diferentes rangos de frecuencia (figura 5). Esto es una costosa y larga operación que, por lo general, requiere que las mediciones se realicen en una vía de pruebas o en la red real cerrando el servicio por un tiempo.

Los límites de las emisiones radiadas según la norma EN 50121-3-1 dependen de si las pruebas se hacen a nivel estacionario (figura 6) o en movimiento lento (figura 7).

### Gestión de la compatibilidad electromagnética

A fin de lograr el cumplimiento de la CEM en los equipos ferroviarios es necesario incluir la CEM como un parámetro de diseño desde la fase conceptual de un nuevo proyecto. También es necesario controlar el proceso de diseño para asegurar que se produce la documentación de apoyo y que será incluida dentro de la documentación de seguridad, para cubrir los aspectos de la seguridad y de la CEM que permitirá al fabricante declarar la conformidad con la Directiva de CEM.

La primera etapa de este proceso es incluir la CEM como un requisito dentro de la convocatoria de licitación, incluyendo una especificación de CEM.

En esta etapa se puede definir simplemente la norma EN 50121 más las normas adecuadas para la infraestructura, por ejemplo, las normas de grupo de la RSSB ("Rail Safety and Standards Board") como las normas GM / RC 1500, GM / RT8015. También se podría considerar el manual de buenas prácticas 5-01018-001 / G-222 A1 del Metro de Londres, por ejemplo. El contratista principal, entonces debe preparar un Plan de Gestión de la CEM que debe ser elaborado al comienzo del proyecto y por lo general incluirá:

- Una identificación de peligros: una identificación de las probables fuentes de EMI de los equipos que pueden afectar a otros equipos en el entorno operativo; una identificación de las fuentes de EMI en el medio ambiente que puedan afectar a la instalación ferroviaria o al propio ferrocarril.
- Un listado de referencias: por ejemplo, los reglamentos de CEM apropiados, las especificaciones del cliente, las normas, o especificaciones internas del contratista principal;
- La definición de las responsabilidades del contratista principal y sus proveedores.
- El control de los proveedores: esto puede incluir los requisitos para cada proveedor solicitando realizar un plan de CEM y la de-

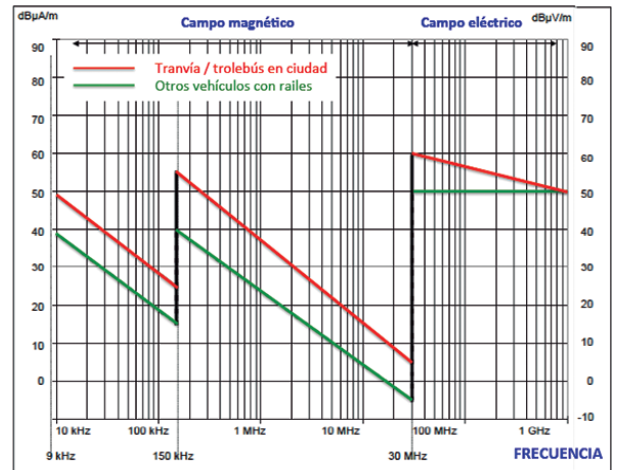


Figura 6. Límites de cuasi-pico de las emisiones radiadas a 10 metros: prueba estacionaria según la norma EN 50121-3-1.

mostración del cumplimiento de la CEM.

- "La gestión de CEM a nivel de sistema completo", declarando la intención general de gestionar la CEM por diseño, identificando en particular las áreas de interés.
- La documentación entregable.
- La planificación del tiempo en la gestión de la CEM: la identificación de hitos, por ejemplo, las pruebas de emisión "in-situ" del sistema, para su incorporación en la planificación del proyecto conjunto.
- El anexo al Plan de Gestión de la CEM podrá incluir las directrices y prácticas de diseño de CEM utilizadas por el contratista principal.

En un sistema de gran tamaño, aunque es necesario realizar algu-

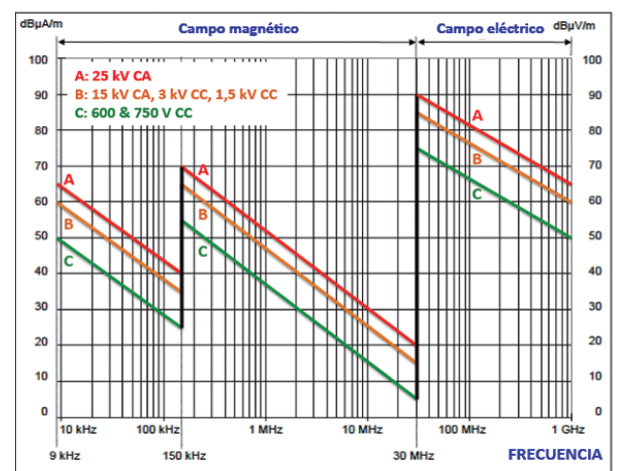


Figura 7. Límites de cuasi-pico de las emisiones radiadas a 10 metros: prueba con movimiento lento según la norma EN 50121-3-1

nas mediciones electromagnéticas en todo el sistema, inicialmente es necesario identificar los diversos subsistemas eléctricos/electrónicos y determinar la política de contratación de los proveedores. En este caso es razonable solicitar a cada sub-contratista las pruebas documentales conforme su producto cumple con las normas apropiadas de CEM.

Como se debe indicar en el plan de gestión, cada proveedor será responsable de demostrar que su equipo cumple con los requisitos especificados de CEM y presentará su Plan de Control de CEM, los Planes de Pruebas y el informe de resultados informando al contratista del sistema, que asimismo incluirá todo dentro de la Documentación Técnica de la CEM del sistema. Es entonces necesario que el fabricante del sistema valide, desde un punto de vista de la CEM, las técnicas de instalación y cableado que ha utilizado.

Esto será en parte una referencia para el Plan de Gestión de la CEM, que establece las prácticas de CEM de trabajo esenciales, en función de los procedimientos de garantía de calidad de la organización del contratista, y también para la verificación de las pruebas de emisiones de todo el sistema.

En grandes sistemas, las pruebas de inmunidad "in-situ" no son prácticas y es mejor realizar las pruebas de inmunidad en los aparatos individuales y en las prácticas de instalación utilizadas.

Es de vital importancia que las prácticas de instalación aseguren que la inmunidad integral del subsistema se mantiene, ya sea mediante el uso de, por ejemplo, cables apantallados, la separación de los cables o la conexión a tierra y las buenas técnicas de unión de los chasis, armarios, etc. Por lo tanto, se requiere una buena comunicación entre el proveedor y el contratista principal para asegurar un buen flujo de información.

### Gestión de la CEM en España

La evaluación de la CEM en los ferrocarriles españoles es doble. La primera parte se realiza por el

Ministerio de Fomento (Ministerio de Obras Públicas, la NSA) que expide la autorización de puesta en servicio y la segunda parte se lleva a cabo por parte del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), que emite la autorización de funcionamiento al confirmar la compatibilidad con la red. La documentación que detalla el proceso también es doble.

Los procesos legales son establecidos por las Órdenes Ministeriales de materiales y las especificaciones técnicas de la homologación establecidas por las Especificaciones Técnicas de Homologación (ETH). Estos documentos pueden obtenerse en la página web del Boletín Oficial del Estado ([www.boe.es](http://www.boe.es)). La evaluación tiene la evidencia de los resultados de las pruebas, los cálculos o simulaciones, la comparación con los trenes y la certificación de terceros existentes.

La evaluación se lleva a cabo por un panel externo formado por organismos de certificación y organismos notificados. Este panel proporciona un certificado basado en las normas TSI ("rail Technical Specification Interoperability") y las Especificaciones Técnicas de Homologación (ETH).

### Conclusiones

Se ha descrito un enfoque práctico para asegurar la CEM en equipos

de grandes instalaciones, dentro del entorno ferroviario, basado en pruebas rigurosas de los subsistemas y en la verificación de las buenas prácticas de instalación y diseño, teniendo bajo control la gestión de CEM, los procedimientos de control de calidad y las pruebas de emisiones de todo el sistema desde el principio.

Este enfoque es adecuado para demostrar el cumplimiento de los requisitos de protección esenciales de la Directiva de CEM en Europa. Además de la Documentación Técnica de la CEM, los datos de las pruebas pueden ser utilizados para apoyar los aspectos de CEM en la documentación de seguridad del equipo y en el caso de los proyectos de señalización, por ejemplo, la documentación se puede agregar a la documentación de CEM de la instalación ferroviaria.

Hay que destacar que las normas ferroviarias de CEM representan un requisito técnico mínimo y pueden necesitar ser tenidas en cuenta sobre la base de la identificación de los peligros y riesgos. Se han presentado varias normas ferroviarias relacionadas directa o indirectamente con la CEM. Se han abordado las dificultades técnicas de realizar mediciones de CEM en los trenes en movimiento. Por último, se ha presentado la gestión de la CEM en general y, más concretamente, en España. ☑

#### REFERENCIAS

- Ade Ogunsola, Andrea Mariscotti, "Electromagnetic Compatibility in Railways, Analysis and Management", Springer, 2013.
- Webs de varios fabricantes: CAF, ALSTHOM y BOMBARDIER
- Normas EN 50121 y EN50155
- Chris Marshman, "EMC and Railway Safety", In Compliance Magazine, May 2010
- Hans Bångtsson, "EMC in the railway environment", Bombardier, May 2010
- London Underground, "Manual of Good Practice", G-222, 2007
- EMC for European Railways, 67575\_ERA EMC\_Final\_Report Lloyds Register, 2010
- Electromagnetic Compatibility between Railway Infrastructure and Trains, Railway Group Standard, GE/RT8015, 2002
- Francesc Daura, "La Compatibilidad Electromagnética y La Seguridad Funcional", Revista Española de Electrónica, Mayo 2014
- Francesc Daura, "Mercado CE + Mercado CE ≠ Mercado CE Aplicado a Máquinas, Sistemas Complejos O Instalaciones Fijas: Gestión De Los Componentes", Revista Española de Electrónica, Diciembre 2013